

VI CONGRESO INTERNACIONAL DE PROYECTOS DE INGENIERIA

METODOLOGIA PARA EVALUAR LA CALIDAD DE PROYECTOS DE COGENERACION TERMoeLECTRICA

DANIEL GARCIA ALMIÑANA
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS DE INGENIERIA
SECCION DE TERRASSA
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA

RESUMEN

En esta comunicación se repasa, en primer lugar, la evolución y desarrollo de la cogeneración en España a lo largo de los últimos 20 años, la cual aporta una potencia instalada próxima a los 6000 MWe en casi 1300 plantas y tiene una contribución en el balance eléctrico del orden del 13%. En segundo lugar se relaciona dicha evolución con el entorno legal y tarifario vigente en cada momento así como con los criterios de diseño habitualmente empleados por parte de los ingenieros de proyecto.

En los últimos dos años, como consecuencia de la evolución en los precios de la energía, se ha puesto de manifiesto la incoherencia entre la existencia de una problemática relativa a la dificultad de alcanzar una operación rentable para una parte significativa de aquellas plantas de cogeneración frente a la consideración general de la cogeneración como una tecnología eficiente. Sin embargo, se ha detectado como aquella repercusión no ha sido la misma para todas las plantas sino que se ha manifestado de forma más intensa sobre las plantas cuya viabilidad muestra también una mayor dependencia de variables sobre los que el explotador tiene una muy reducida incidencia.

En esta comunicación se presenta una propuesta de método específico para la evaluación a priori de la “calidad” de los proyectos de cogeneración; siendo esta calidad un parámetro indicativo de la mayor o menor dependencia de la viabilidad de la planta con respecto a las variables del entorno y, en consecuencia, se propone emplear esta “calidad” como criterio para el diseño de futuras instalaciones con una mayor eficiencia energética y ambiental y, por consiguiente, más sostenibles.

SUMMARY

This paper shows, first of all, evolution and development of CHP in Spain during last 20 years. Present CHP capacity amounts to some 6000 MW in 1300 facilities and its contribution to total energy production is about 13%. Second, a relationship appears between yearly CHP evolution and legal plus tariff framework in force in every moment, which also depends on design criteria followed by project engineers.

During last two years, as a consequence of energy price evolution, some incoherence has arise between considering CHP as a high efficiency technology and a lost of profitability in a significant part of CHP plants. However, such negative impact has not been equal in every plant but it has been more intense in those plants which are more depending on parameters to which plant operator has a much reduced influence.

In this paper a specific method for evaluating “quality” in CHP projects is presented. Quality, in this sense, is a factor to illustrate a more or less intense dependence between profitability of CHP and external outline factors. As a result, it is proposed to use this “quality” as criteria for future designing more efficient plants both in energy and environmental awareness and, in this way, more sustainable design.

1. INTRODUCCIÓN - LA COGENERACION EN EUROPA

La tecnología de la **cogeneración termoeléctrica** ha demostrado ser una de las que mayor incidencia ha tenido en el ámbito de la **Unión Europea** para la consecución de unos índices de **eficiencia energética** en continua mejoría. En paralelo, aquella mejora en los índices de eficiencia energética ha venido acompañada por una **disminución en el impacto ambiental** asociado a la utilización de energía en todos los campos de actividad, tanto industrial como del sector terciario y servicios.

Así, uno de los **índices de intensidad energética** revela una evolución en Europa desde los 287 TEP/10⁶euro en 1980 hasta 234 TEP/10⁶euro en 1997 (*fuelle: 1999 Annual Energy Review, publicado por la Comisión Europea en enero'00*). Se apunta tanto a una mayor eficiencia energética global en los procesos industriales como en la industria de generación de electricidad, incluyendo a la **cogeneración**, como responsables principales de dicha mejora.

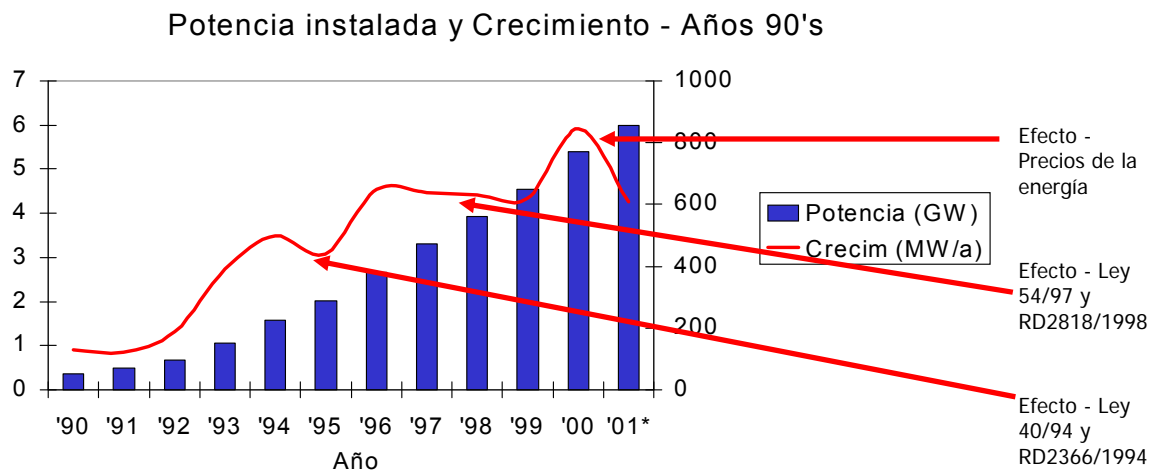
Como prueba adicional de ello, la comunicación de la Comisión Europea COM(97)514, apostó por doblar en **papel jugado por la cogeneración** en el período 1994 a 2010, pasando de una contribución del 9% en el balance total de energía eléctrica generada hasta un mínimo del 18%. Similarmente, otro informe del IPSEP (International Project for Sustainable Energy Paths), apunta a la cogeneración como la tecnología que permitiría cubrir los **compromisos adquiridos en Kyoto** con el menor impacto económico global. En concreto se indica la posibilidad de reducir las emisiones de CO₂ en 138 millones de toneladas anuales, para un incremento simultáneo de la producción eléctrica de 672 TWh/a para el conjunto de la UE.

Es innegable pues el **papel dinamizador** en la eficiencia energética global que ha jugado, juega y debe seguir jugando la **cogeneración termoeléctrica en Europa**.

2. LA COGENERACION EN ESPAÑA

En España el **marco legal** que ampara a la cogeneración ha sufrido, en la última década, **numerosos cambios** tanto en cuanto a los requisitos de **rendimiento energético mínimo** demandado como, especialmente, con respecto al **marco económico** que afecta a las exportaciones de la electricidad excedentaria. Así, la Ley 82/80 sobre Conservación de la Energía, que establecía los primeros incentivos a la cogeneración, fue derogada parcialmente ya en 1994 por la Ley 40/94 de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional, la cual introdujo una primera regulación sobre las plantas de cogeneración. A su vez, en 1997, la Ley 54/97 del Sector Eléctrico deroga a la anterior y volvió a revisar de forma notable el marco económico aplicable a las citadas instalaciones.

En otras palabras, **en menos de diez años**, el entorno legal de la cogeneración ha sufrido un mínimo de **tres modificaciones sustanciales**, lo cual ha tenido su repercusión en el desarrollo concreto de esta tecnología. Si a ello se le añade la **incertidumbre** en cuanto a la evolución de los **precios de la electricidad y los combustibles**, especialmente del gas natural como fuente de energía principal en aplicaciones de cogeneración, resulta una **evolución de la cogeneración en España** como la que muestra la figura 1.



* Estimado - Fuente: InfoPower, IDAE y elaboración propia

Figura 1.- Evolución de la cogeneración en España en los años 90

Puede observarse como, a pesar de haberse producido un incremento espectacular en la potencia de cogeneración en servicio, el **ritmo de crecimiento** ha venido **marcado por condicionantes totalmente ajenos** a los explotadores e ingenieros diseñadores de dichas plantas.

Similarmenete también puede observarse como, **tras cada período de reducción** en el ritmo de crecimiento, se ha producido **un incremento notable en los años posteriores**, gracias especialmente a la labor de las **ingenierías**

que diseñan dichas instalaciones, las cuales han encontrado fórmulas que han permitido **sacar el mejor partido al escenario vigente en cada momento**. Entre los criterios que han ido aplicando los ingenieros de proyecto en cada período merece la pena destacar la promoción de las aplicaciones basadas en motores alternativos, especialmente a raíz de la entrada en vigor del RD2366/1994; la maximización del funcionamiento en horario punta durante los días laborables, según el perfil de trabajo de la discriminación horaria tipo 4, también como respuesta al RD2366/1994; la recuperación del funcionamiento en horario valle a raíz de la entrada en vigor del RD2818/1998; la introducción de la tecnología de la absorción como complemento de la cogeneración en aplicaciones tanto del sector terciario como del sector alimentario; el enfriamiento del aire de combustión en turbinas de gas como potenciador del rendimiento y prestaciones de éstas, las aplicaciones de secado de residuos o tratamiento de purines mediante cogeneración, también como consecuencia del RD2818/1998, etc.

No obstante ello, **a partir de mediados-finales de 1999**, el continuo incremento en los **costes del combustible** (que no ha invertido la tendencia hasta principios del 2001, tal como muestra la figura 2), junto al estancamiento en los **costes para la electricidad** regulada, ha hecho surgir una especial **preocupación** entre los operadores de **plantas de cogeneración** que han visto reducir sus márgenes hasta niveles que, en muchos casos, han traspasado en umbral de rentabilidad positiva para entrar en el campo de las pérdidas operativas. En muchos casos también, las horas de operación de dichas plantas se han reducido drásticamente o incluso han detenido totalmente su funcionamiento.

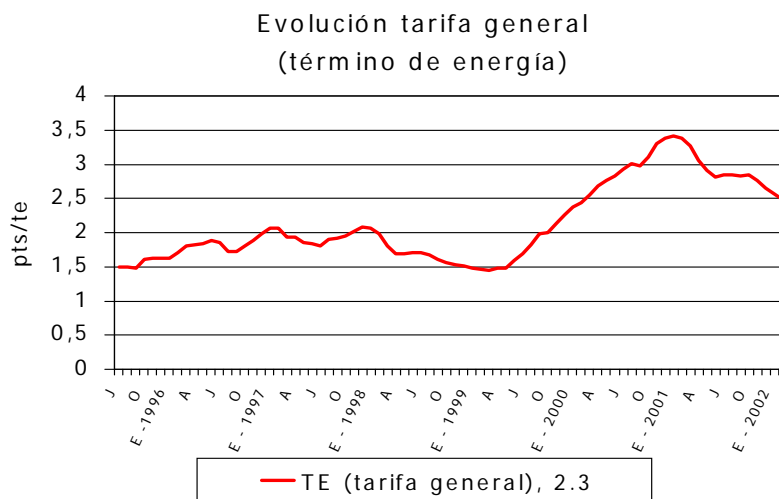


Figura 2.- Evolución en los costes del gas natural en España en los años 90

Diversas agrupaciones de cogeneradores han expresado su **preocupación** por dicha situación y más aún cuando este comportamiento en el funcionamiento de las plantas de cogeneración contradice los deseos expresados por la UE. Se da la **incongruencia** adicional de que el ritmo de crecimiento en la demanda eléctrica en España (29% de incremento en los últimos cuatro años, 7% sólo en el 2001), hace prever una situación de problema de suministro (véase el informe marco de la Comisión Nacional de la Energía CNE sobre la demanda de energía eléctrica y gas natural para el período 2001 a 2005), especialmente grave para los inviernos 2001-2002 (ya transcurrido) y 2002-

2003 (en camino), hasta que no operen a pleno rendimiento un número significativo de nuevas centrales de ciclo combinado de alta eficiencia (hasta la fecha, sólo han entrado dos centrales de las más de 40 previstas). Los esfuerzos realizados desde la Administración para fomentar el funcionamiento de las centrales de cogeneración paradas no han acabado de dar sus frutos.

3. LA CALIDAD DE LOS PROYECTOS DE COGENERACION

No todas las plantas de cogeneración, sin embargo, vienen lastradas por márgenes operativos bajos y es por ese motivo que se ha visto la posibilidad de asignar un parámetro de “calidad” a cada instalación, de tal modo que las aplicaciones de alta calidad serían aquellas que han presentado una mayor “inmunidad” a estas situaciones coyunturales de variación en los parámetros del entorno, más o menos prolongadas en el tiempo, mientras que las aplicaciones de baja calidad serían aquellas cuya viabilidad puede presentar oscilaciones importantes en pocos años.

Una **primera formulación** aproxima al conocimiento de aquella calidad:

$$ECOG = \{G \times (1 - \mu_t / \mu_c)\} / \mu_e + M$$

Ecuación 1.- Expresión para la determinación del coste variable de generación del kWh

donde

ECOG es el coste variable de generación del kWh,

G es el coste del combustible,

M es el coste específico del mantenimiento y

μ_t , μ_c y μ_e son, respectivamente, el rendimiento de recuperación térmica, el rendimiento convencional en la generación de calor y el rendimiento eléctrico de la cogeneración.

Una **segunda formulación** establece el beneficio bruto de operación de una central de cogeneración:

$$BNF = EEVI - \{G \times (1 - \mu_t / \mu_c)\} / \mu_e - M$$

Ecuación 2.- Expresión para la determinación del beneficio bruto de generación del kWh

donde EEVI es el valor de la electricidad evitada.

Así, el beneficio será máximo cuando se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

- EEVI máximo
- G y M mínimo
- μ_t y μ_e máximo
- μ_c mínimo

μ_e y, en parte también M, son **parámetros de origen tecnológico** y por consiguiente, el diseñador de sistemas de cogeneración de **alta calidad** deberá tender a seleccionar, dentro de la amplia oferta del mercado, aquellos equipos que permitan conseguir **valores óptimos para aquellos parámetros**.

EEVI y G son **parámetros del entorno económico**. EEVI puede, según sea el caso, asimilarse al coste de importar electricidad o al precio de venta de los excedentes eléctricos. Poco margen de maniobra tiene el ingeniero de

proyectos para adoptar uno u otro valor; no obstante, es preciso observar como G tiene reducida su influencia por el factor $(1 - \mu_t / \mu_c)$. Por consiguiente, el diseñador de sistemas de cogeneración de **alta calidad** deberá tender a diseñar instalaciones que fomenten un **alto valor de μ_t** .

μ_c es asimismo un parámetro tecnológico pero que aplica a la generación convencional de calor. Nuevamente el diseñador de sistemas de cogeneración de **alta calidad** deberá considerar que estos equipos tienden a tener valores elevados en instalaciones optimizadas y, por ello, debe asignar nuevamente un mayor esfuerzo en obtener un **alto valor de μ_t** .

La **tercera formulación** que ayudará a introducir el concepto de calidad es la propia definición que se hace del Rendimiento Eléctrico Equivalente (REE):

$$REE = E / \{G - (V / 0.9)\}$$

Ecuación 3.- Expresión para el Rendimiento Eléctrico Equivalente según el RD2818/1998

Combinado esta fórmula con la anterior, es posible obtener una nueva expresión para el beneficio bruto de operación de una central de cogeneración (ecuación 4):

$$BNF = EEVI - \{G \times (\mu_e / REE)\} - M$$

Ecuación 4.- Nueva expresión para la determinación del beneficio bruto de generación del kWh

Sorprendentemente se observa como el beneficio se maximiza no tanto con rendimientos eléctricos elevados, como había sido la tónica habitual en muchos de los diseños de cogeneración hasta la fecha, sino con **valores elevados del REE**. Es evidente que valores elevados del REE son fáciles de conseguir con **valores elevados del μ_e** , aunque simultáneamente, también son precisos **valores elevados para μ_t** .

4. EVALUACION DE LA CALIDAD DE LA COGENERACION

Se han estudiado diversas formulaciones para obtener un parámetro que sea representativo de la calidad de un diseño de cogeneración. De entre opciones las ensayadas, la que ofrece una mejor visión y utilidad es la representada por la ecuación 5:

$$Q(\%) = REE^2 / \{\mu_t + \mu_e\}$$

Ecuación 5.- Expresión propuesta para determinar la calidad de proyectos de cogeneración

Dicha expresión asume que proyectos diseñados con equipos de bajo rendimiento eléctrico podrán mantener una buena calidad de operación cuando lo compensen con una elevada recuperación de calor; es decir, cuando se consiga un buen rendimiento global de aprovechamiento del combustible.

Algunos **ejemplos** para ilustrar la expresión anterior:

- Planta de cogeneración basada en **turbina de gas**, con un **rendimiento eléctrico del 30%** y una recuperación de calor del 50%:

Dicha instalación gozará de un REE del 68%, un rendimiento global del 80% y un índice de calidad del 57%.

La misma instalación anterior pero con una tasa de recuperación de calor del 45% gozará de un REE del 60%, justo por encima del requisito mínimo del 59% pero su índice de calidad bajará al 48%.

Sin embargo, la optimización del sistema de recuperación de calor para un nivel de recuperación (factible) del 55% conduciría a un REE del 77% y un índice de calidad del 70%.

- De la misma manera, una planta de cogeneración basada en **motores alternativos**, con un **rendimiento eléctrico del 40%** y una recuperación de calor del 40%, presentará un REE del 72% y un índice de calidad del 65%.

La misma instalación anterior pero con una tasa de recuperación de calor del 35% gozará aún de un REE del 65%, bastante por encima del requisito mínimo del 59% pero su índice de calidad bajará al 57%.

La optimización del sistema de recuperación de calor para un nivel de recuperación (factible) del 45% conduciría a un REE del 80% y un índice de calidad del 75%.

Las tablas 1 y 2 muestran la evolución de los distintos parámetros considerados a distintos regímenes de explotación de las instalaciones:

RENDIMIENTO TOTAL (%)	RECUPERACIÓN TERMICA (%)	REE	Q
92,5	52,5	96%	100%
90	50	90%	90%
86,7	46,7	83%	80%
85	45	80%	75%
82,5	42,5	76%	70%
80	40	72%	65%
75	35	65%	57%
65	25	55%	47%
60	20	51%	44%

Tabla 1.- Principales parámetros para una instalación basada en motores alternativos

Se han destacado en la tabla los puntos para los que se ha definido una calidad mínima recomendable (70%) así como el punto mínimo aceptable para el REE en el caso de motores alimentados con gas natural (55%).

RENDIMIENTO TOTAL (%)	RECUPERACIÓN TERMICA (%)	REE	Q
91,8	61,8	96%	100%
90	60	90%	90%
87,7	57,7	84%	80%
86,5	56,5	81%	75%
85	55	77%	70%
83,2	53,2	73%	65%
80	50	68%	57%
74,5	44,5	59%	47%
60	30	45%	34%

Tabla 2.- Principales parámetros para una instalación basada en turbina de gas

Se han destacado en la tabla nuevamente los puntos para los que se ha definido una calidad mínima recomendable (70%) así como el punto mínimo aceptable para el REE en el caso de turbinas de gas (59%).

CONCLUSIONES

- La **cogeneración** es una tecnología que debe continuar aumentando su contribución en el **balance energético de la Unión Europea** como medio para alcanzar y mantener niveles de **crecimiento sostenible**.
- Los aspectos que determinan la **viabilidad a largo plazo** de las instalaciones de cogeneración pueden agruparse en dos grandes categorías: **parámetros externos** (marcos legal y tarifario) y **parámetros internos** (tecnología y diseño de ingeniería).
- Las **instalaciones** mayoritariamente **dependientes** de los parámetros **externos** suelen presentar **fuertes variaciones en sus tasas de rentabilidad** mientras que las instalaciones apoyadas sobre los parámetros **internos** presentan una **gran robustez** en cuanto a su viabilidad a largo plazo.
- Se ha presentado un **parámetro** para la determinación de la **calidad de proyectos de cogeneración**, el cual a su vez, permite valorar y comparar aquella robustez de la viabilidad a largo plazo frente a factores externos a la operativa de las instalaciones.
- **Se recomienda el empleo de dicho parámetro de calidad para descartar o rediseñar instalaciones en las que la calidad sea inferior al 70%.**
- Se destaca el papel clave que los ingenieros de proyecto juegan para lograr un adecuado diseño de las plantas desde el punto de vista de la sostenibilidad a largo plazo.

CORRESPONDENCIA

Daniel García Almiñana - Departament de Projectes d'Enginyeria UPC
Profesor Asociado - Sección de Terrassa
C/Colom 11 – 08222 Terrassa – Edificio TR5 – Despacho 2.11
Tel 937.398.154 – daniel.garcia@upc.es